

サゴ澱粉の利用特性 Utilizing Characteristics of Sago Palm

小林 昭一*
Shoichi KOBAYASHI

はじめに

サゴ澱粉については、1985年、東京で開催された第3回国際サゴシンポジウムで、広範な問題が提起、討論されている(Yamada and Kimura, 1985)。ここでは、その後の研究の進展について述べるべきであろうが、筆者は澱粉の高度利用について研究しているので、サゴ澱粉の高度利用の際の問題点を中心として述べてみたい。

わが国における澱粉の生産量は平成2澱粉年度(当年10月から翌年9月)では267.3万トンであり、ここ10年、ほぼ9万トン/年の増加である。輸入量を加えると総供給量は283.8万トンになる。

原料別では、表1に示すように、トウモロコシ(コンス)が80%以上であり、この他、馬鈴薯、甘藷、小麦の順であり、ここ10年、外デンは、1988年の14.3万トンを

除けば 12 ± 1 万トン、小麦澱粉は 4.8 ± 0.2 万トンで推移している。また、平成2澱粉年度の澱粉の用途別消費量では、澱粉糖(水あめ・ぶどう糖・異性化糖)が58.9%で最も多く、以下、化工澱粉13.6、食用・その他11.9、繊維・製紙・段ボール7.2、ビール5.2、水産練製品2.3、調味料1.0(各%)となっている。

澱粉の輸入実績については、表2に示すように、タピオカが12.5万トン以上で最も多く、オランダからの馬鈴薯澱粉の輸入量が2,2.6,3.2万トンのようにのびている。サゴ澱粉の輸入実績については、平成3年ではマレーシアから9,479トン、インドネシアから210トンであり、澱粉総輸入量の6%にも満たない。

一般的食品素材としての利用の場合、原料としては、①大量入手が可能とする要件がある。したがって、サゴ澱粉の場合、大きな産業としてよりも、その特性を活か

表1 澱粉の総合需給表(平成2澱粉年度)

[供給] (千トン)						
種別	甘藷	馬鈴薯	コンス*	外デン**	小麦	計
前期持越	9	6				15
出回量(生産量)政府払下	125	254	2,279	117	48	2,823
計	134	260	2,279	117	48	2,838
[需要] (千トン)						
水アメ、ブドウ糖、異性化糖	104	111	1,441	15		1,671
水産練製品		39	3		22	64
繊維、製紙、段ボール			197		5	202
化工デンプン	1	12	307	63		383
ビール			151			151
調味料				27		27
食用、その他	28	98	180	12	21	339
計	133	260	2,279	117	48	2,838
政府買上翌期持越	1					
合計	134	260	2,279	117	48	2,838

* コンス：コーンスターチ

** 外デン：輸入デンプン

(農林水産省食品流通局資料による)

* 農林水産省食品総合研究所
つくば市観音台2-1-2

写真 1 サゴ(上)および馬鈴薯澱粉粒の
偏光顕微鏡写真

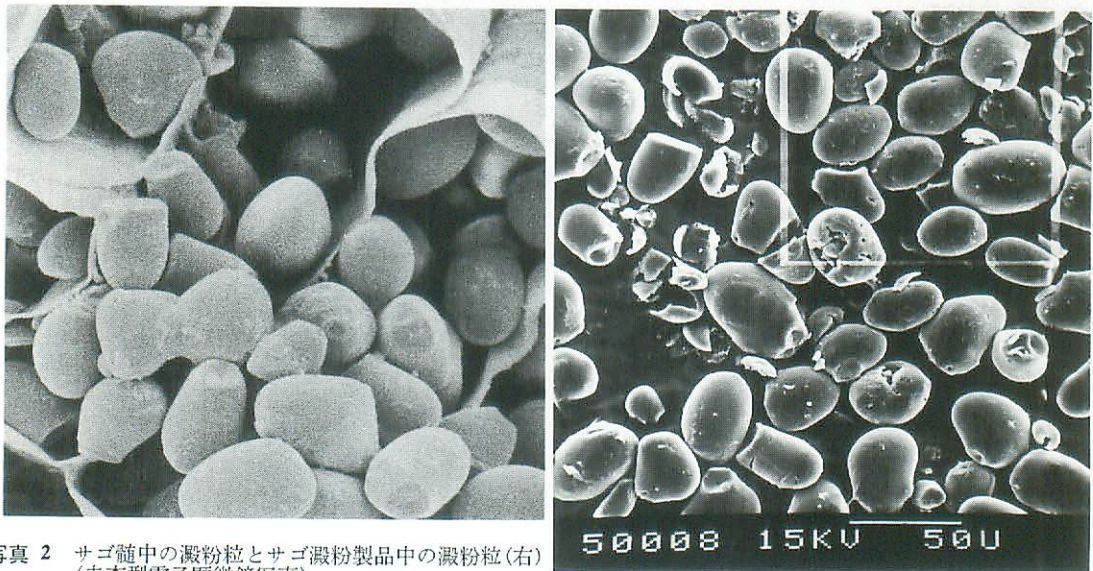
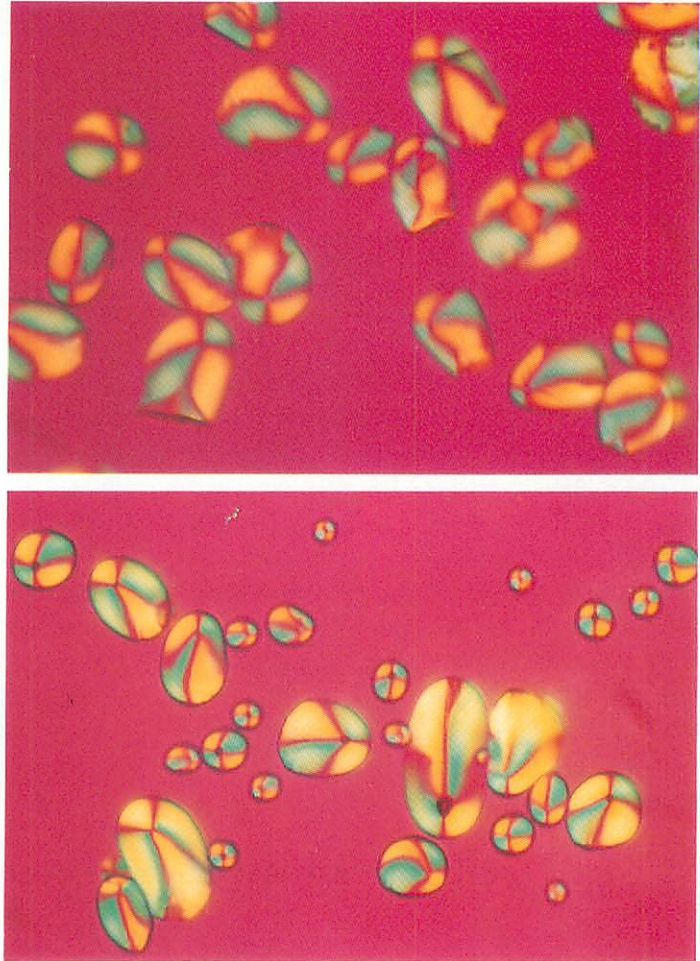


写真 2 サゴ髄中の澱粉粒とサゴ澱粉製品中の澱粉粒(右)
(走査型電子顕微鏡写真)

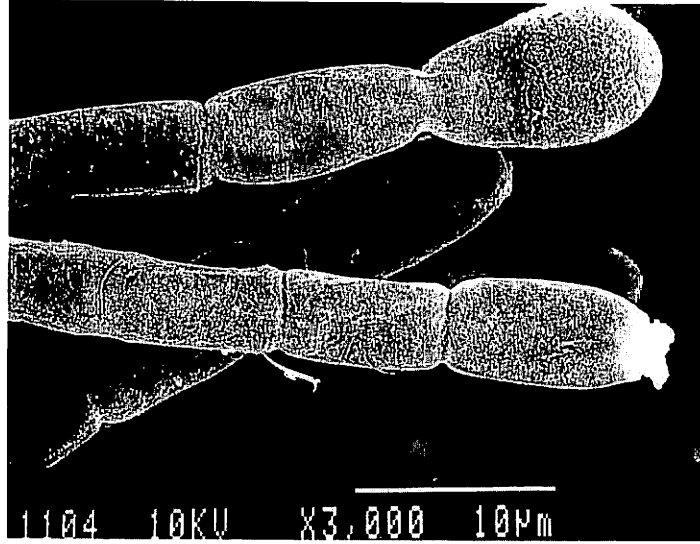


写真 3 カララ・パドキサの顕微鏡写真(農林水産省生物資源研究所 門間 充原図)

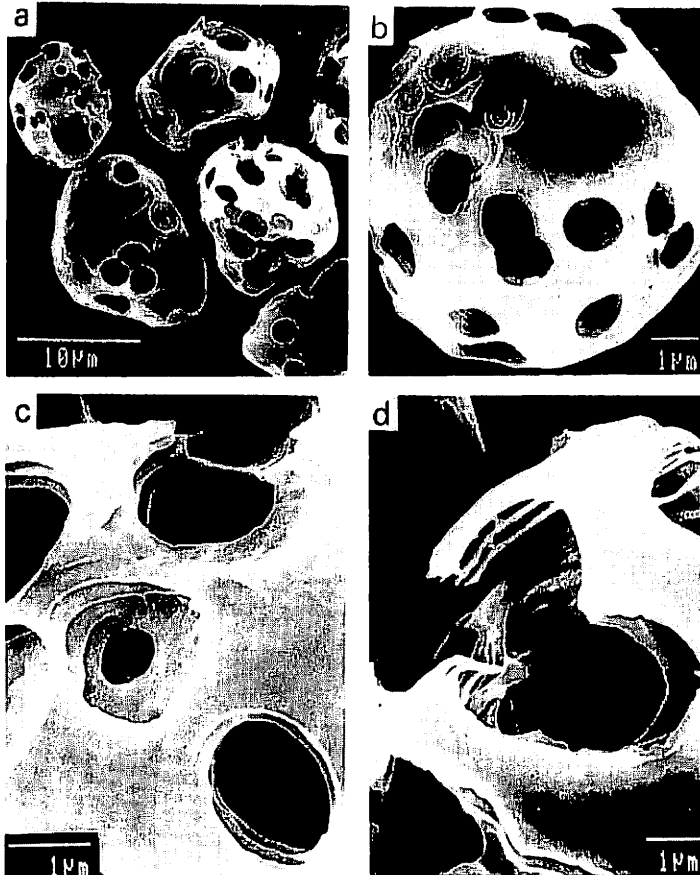


写真 4 カララ・パドキサのグルコアミラーゼで分解されたトウモロシ澱粉の走査型電子顕微鏡による観察(a~d:低倍率~高倍率)(農林水産省生物資源研究所 門間 充原図)

表 2 澱粉の輸入実績(平成3年)

種 類	輸出国	数 量 (トン)	単 価 (円/kg)
トウモロコシ	アメリカ	34	147
	オランダ	6,825	36
	フランス	8	148
	韓 国	168	49
	計	7,035	平均 37
タピオカ	タ イ	124,960	36
	インドネシア	628	39
	計	125,588	平均 36
サ ゴ	マレーシア	9,479	37
	インドネシア	210	29
	計	9,689	平均 37
馬 鈴 薯	オランダ	31,969	49
	ポーランド	72	53
	ド イ ツ	5,464	49
	計	37,505	平均 49
そ の 他		1,023	190
	合 計	180,840	平均 40

(農林水産省食品流通局資料による)

した特殊な分野での利用が求められるであろう。この他の要件としては、② 貯蔵性に優れている、③ 目的の成分を分離しやすい、④ 経済的に有利(安価)である、⑤ 加工しやすい、などの要件を備えていなければならず、これらに加えて、⑥ 製品の利用価値が原料よりも高い、ことも必要である。

そこで、サゴ澱粉の特性を知ることが必要である。

サゴ澱粉の特性

まず、サゴ澱粉製品の特性値の一例を表3に示す。澱

表 3 サゴ澱粉製品試験値(根本芳郎, 1969)

水 分 (%)	16.7	粒度分布 (μm , %)	
pH	4.28	10 以下	4.5
灰 分 (%)	0.11	11-20	21.8
白 度 (450 m μ)	78.1	21-30	20.8
アミログラム特性値(濃度 8%)		31-40	27.0
糊化温度(°C)	70.0	41-50	20.4
最高粘度(BU)	137.0	51 以上	5.5
同時温度(°C)	78.5	平均粒径	31.0

(澱粉科学ハンドブック, 朝倉書店, 1977年発行, p. 409)

表 4 各種澱粉糊の性質 (T. J. Schoch)

澱 粉	糊化開始温度 (°C, 濃度 5%)	糊の透明度	糊の特性
トウモロコシ	80	白 濁	ゲル
モチトウモロコシ	70	透明, 一部濁り	凝集性, 放置してもゲル化しない
小 麦	76	不透明	流動性
アロールト	75	透明, 一部濁り	凝集性, 流動性
サ ゴ	74	透明, 一部不透明	凝集性, 流動性
タピオカ	63	透 明	凝集性, 放置するとゲル化
馬 鈴 薯	64	透 明	凝集性, 流動性

(鈴木繁男, 貝沼圭二: 食品工業, 11 巻 12 号, p. 6, 1968)

表 5 105°C 加熱により調製した各種澱粉 4% 糊の粘度

	Viscosity(cp.)	
	Hot ^a	Cold ^b
カンナ	2810	—
馬鈴薯	2300	4600
アロールト	955	3125
サ ゴ	57	1855
タピオカ	770	2250
甘 藷	638	1120
トウモロコシ	429	2240
米	241	1045
小 麦	101	1710

^a 糊を調製直後 95°C にて, MacMichael 粘度計で測定.

^b 25°C で 16 時間保持した後 MacMichael 粘度計で測定.

(E. M. Osman and P. D. Cummisford: Food Res., 24, 595, 1959)

粉粒の形状は写真 1 に示すように楕円形またはその一部が欠けた形状, 粒径は 10~65 μm , 平均粒径 31.0 μm で馬鈴薯澱粉について大きく, 同心円状の層状構造をもち偏心した粒心がある。アミロース含量が約 27% で, 比較的低い温度で糊化し, 清澄な高粘性糊化液となり, 離水は少ないが, 糊液の老化性が高く, 時がたつと白濁する傾向がある(表 4)。

また, 表 5 に示すように, 高温での糊は低粘性で取扱い易く, 室温にまで冷却すると高粘性になる。

図 1 のように馬鈴薯, トウモロコシ, リョクトウ澱粉では大豆蛋白の添加により物性が大きく変化するが, サゴ澱粉の物性変化は小さく, 強いゲルを形成し, 整形もし易い。澱粉の微細構造の検討例では, サゴのアミロペクチンの鎖長は, 通常澱粉のアミロペクチンと大差がないことが知られている。

Property of starch	Starch	Potato	Sago	Corn	Mung bean
	Viscosity		↘	↗	↗
Swelling power		↘	↘	↗	↘
Solubility		↘	↘	↗	↗
Degree of gelatinization	Initial	↘	↘	↗	↗
	Later	==	==	↘	↘
Gel texture		↗	↘	↘	↘
Syneresis	Isolated soybean protein		↗	↗	↗
	Soybean milk powder		↘	↗	↗

Remarkable change
 Slight change
 Same level

図1 大豆蛋白質添加が各種澱粉の特性に及ぼす影響
 (高橋節子: The 3rd International Sago Symposium, SAGO-85 Tokyo Japan, p. 215, 1985)

膨潤度、溶解度についても図2に示すように、馬鈴薯とトウモロコシの中間的な性質を示す。

各種澱粉のアミログラフでの最高粘度は根菜類澱粉で高く、膨潤力も根菜類澱粉で高く、糊化温度は根菜類澱粉で一般に低い。穀類澱粉と根菜類澱粉、すなわち、トウモロコシ澱粉と馬鈴薯澱粉を、その物性の両極端の性質として、「澱粉尺」として表わすと、図3のように、サゴ澱粉はほぼ中間に位置し、その利用面も穀類、根菜類澱粉に跨る広いものになるであろう。

各種食品素材と混合しても物性変化が小さいこともサゴ澱粉の有用な性質である。たとえば、大豆蛋白の添加により栄養価を高めることができ、テクスチャーを改良できるので、麺類その他の加工食品に応用できる。

サゴ澱粉は、トウモロコシ澱粉と同様に非常に老化し易いが、タピオカ澱粉、馬鈴薯澱粉は老化し難い。サゴ澱粉のこの性質は、食品の低温貯蔵、冷凍貯蔵には重大な欠点となるが、逆に、老化を必要とするハルサメなど麺類への利用には有利な性質である。

サゴ澱粉は種々加工して現地住民の主食や一般食品とされる。湿サゴ澱粉を粒状に表面糊化し乾燥したサゴパ

ールは国内用、輸出用にもされるが、プディング、ゼリー、スープ、その他への利用も可能であるという(Takahashi, 1985)。

これら食品への利用には高品質のサゴ澱粉が求められ、高品質製品が入手可能になれば、利用範囲は広がる。しかし、サゴ澱粉製品中の澱粉粒には写真2に示すように、多くの損傷粒が含まれており、損傷粒の含量が粘度特性に大きく影響しているようである。高品質サゴ澱粉の最高粘度は高く、製品により粘度特性の差異があるのは損傷粒の含有量によるのであろう。成熟サゴの髓に閉じ込められた状態の澱粉粒には損傷がほとんど認められないので、サゴ澱粉製造工程の改善により高品質製品が生産できると考えられる。成熟期を逸すればサゴ髓中で澱粉粒は分解作用を受けるであろうし、伐採した後、放置すれば澱粉分解酵素が働くであろうから放置時間が長いほど損傷粒含有率が高くなり、粘度特性に劣る製品になると思われる。伐採と同時処理が必要となれば、コンパインのように移動型澱粉製造車が必要となり、サゴの収穫期を少しずつ移動させるなどの工夫が求められる。このような対応はサゴ澱粉製品の価格を引き上げる

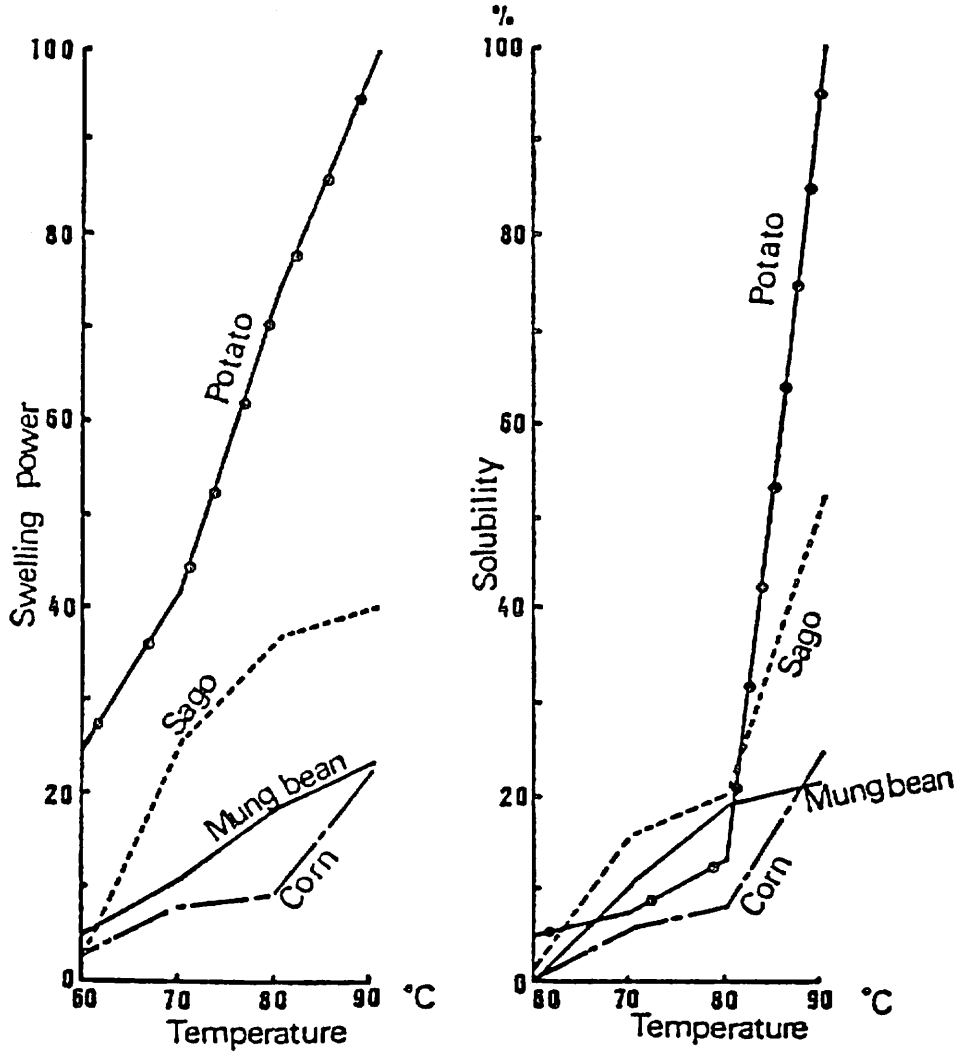


図 2 各種澱粉の膨潤力および溶解度
 (高橋節子: The 3rd International Sago Symposium, SAGO-'85 Tokyo Japan, p. 210, 1985)

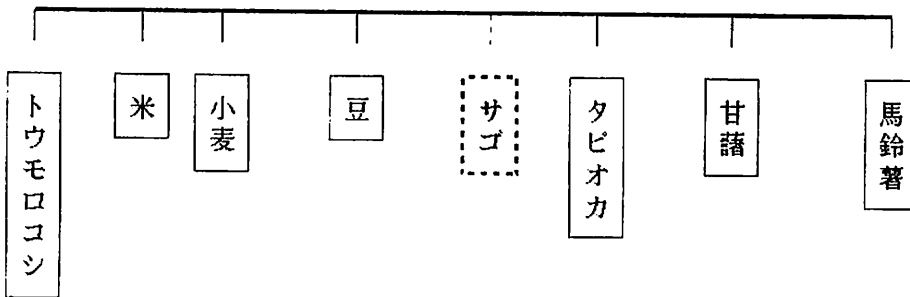


図 3 澱粉尺
 (鈴木繁男, 貝沼圭二: 食品工業, 11 卷 12 号, p. 9, 1968)

ことになる。

サゴ澱粉製品の着色についても検討が進められており、白度 65 程度のサゴ澱粉も次亜塩素酸酸化により、白度 90 以上の酸化澱粉をつくることできるという。サゴ澱粉粒は他の澱粉粒に比較して、色素吸着力が弱いことから、着色は内性的なものであり、樹木に比較的多く含まれるフェノール性物質が混入して金属、特に鉄イオンの存在により着色を強めると考えられ、白度の高いサゴ澱粉の製造法については改良が進んでいるようである。しかし、損傷粒の少ない製品の生産については、さらに研究を要する。

以上、サゴ澱粉の利用方法として、高分子特性を利用するものについて述べたが、この他に、たとえば生分解プラスチックとしての利用も考えられる。安価、高粘性、付着性を利用した糊料としての用途もあり、合板製造用糊料の増量剤として小麦澱粉の代わりに使用でき、JAS 規格では 21% の混合が可能であるという。

澱粉は、この他、澱粉全消費量の 60% 以上が加水分解物として利用され、この場合、澱粉の種類による影響はなく、安価な原料が求められる。さらに、加水分解反応の難易、濾過、精製など工程に及ぼす影響が問題となる。サゴ澱粉の価格は表 2 でも示したように、37 円/kg で、国内産澱粉と比較すれば(平成 2 年度、トウモロコシ: 46 円、馬鈴薯 119 円、甘藷 144 円)極めて安価で経済的には有利である。澱粉の加水分解物としてはマルトオリゴ糖類の利用価値が高く、グルコース 3 量体以上のマルトオリゴ糖の大量生産も開始されつつある。

マルトオリゴ糖、糖アルコールの生産とその応用

マルトオリゴ糖とはグルコースが 2~10 個結合したものであり、10 以上のものはメガロ糖と称されている。これまで、 β -アミラーゼによるマルトース (G_2) 生産が主体であり、 G_2 を 50~80% 含む酵素シラップの生産量は 30 万トン以上にも増加しているようであり、物性が蔗糖に近く、甘味の質が良いことから菓子類、パン、ジャム、ゼリー等に用いられ、主流はマルトースを多量に含むハイマルトースシラップである。

G_2 に水素添加したものがマルチトールで甘味度は 90 である。また、その難消化性はソルビトールとは大きく異なる。さらに、血糖値を上昇させず、インシュリンの分泌に影響を及ぼさず、コレステロール、中性脂肪等の上昇を抑えるので糖尿病、高血圧症患者用となるなど、優れた甘味料であり、齧蝕(かじり) (虫歯) 防止にも効果があるという(小田ら, 1972)。物性は易溶性、無色透明、

粘性に優れソルビトールの 2 倍である。グルコースが 3 個以上結合したマルトトリオース (G_3)、マルトトテトラオース (G_4)、マルトペンタオース (G_5)、マルトヘキサオース (G_6) の水素添加により得られる各々の糖アルコールの性質については、体内での利用性では G_3 の糖アルコール(マルトトリイトール, G_{3OH}) は比較的消化され難く、 G_4 のそれ(マルトテトライトール, G_{4OH}) は水解されグルコースとマルチトールになる。

また、糖アルコールはカビ、酵母および乳酸菌等に資化され難く、特に酵母では発酵され難いのでガス生成を好まない食品に用いられる。 G_{3OH} 以上の糖アルコールは各種重合度のものの混合物として製品化されている。マルトースをアルカリ異性化処理するとマルチュロースになり、甘味度は 90 になる。

G_4 ~ G_6 のマルトオリゴ糖の生産はこれまで困難であり、その性質についての検討は遅れていたが、最近、各々のオリゴ糖を特異的に生産する酵素が各種菌から発見され、分離技術の進歩とともに生産は容易になってきている。たとえば、 G_6 の生産では反応液に少量含まれる少糖類を酵母に資化させてカラムクロマトグラフィーで分離され純品がパイロットプラント規模で生産されている。

現在、異性化糖の製造で用いられている GF 分離技術も G_2 , G_3 等のオリゴ糖製造に利用される。さらに膜による分離技術も進み G_3 の生産に用いられ、 G_5 を 50% 以上に含むハイマルトペンタオースシラップ(商品名: デキシールオリゴ G5-50, 塩水港精糖製)が市販されている。

これまでに明らかにされているオリゴ糖の性質では、 G_2 と G_3 以上で格段の差異があり、 G_3 では甘味が弱くなり、 G_4 以上ではほとんど甘味が感じられず、いわゆる甘味が感じられる。物性については、 G_3 以上で吸湿性がある美味し強く、保水性に優れ、粘度が高く、高濃度液でも透明である。したがって、静菌効果が期待できる。

体内での利用性は、 G_3 は蔗糖と同程度であるがグルコースよりはるかに利用され易い。 G_5 は消化性の良さから腎臓病患者の滋養食として用いられた例もある(Berlyne et al., 1969)。このように消化性、物性に優れていることから、今後、乳幼児、病人、高齢者向けの滋養食品への用途が考えられ、また、物性、味質に劣る食品素材と混合した各種食品の製造が期待される。

さらに、機能性については、植物腐敗菌 (*Erwinia carotovora*) に対して G_3 , G_4 (G_7 まで) が抗菌性を示し(Kondo et al., 1975)、*Bacteroidaceae*, *Clostridium perfringens* など腸内腐敗菌の生育抑制作用があり、その

結果、ピフィズ菌の増殖に影響することも知られている(菅原ら, 1989)。

澱粉からのエタノール生産

発酵原料としては、エタノール、ビール、グル曹、プルラン生産などへの利用がある。

サゴ澱粉の価格は一般に安く、タピオカ澱粉の代用とされ、発酵原料としての用途には有利である。さらに、廃糖蜜より安価になれば、生澱粉分解酵素の利用により燃料用アルコール生産も可能となる。

表6はブラジルでのエタノール製造コストの試算例であるが、原料価格が20円/kg以下であり、製造工程が蔗糖を用いたものより簡単でなければ実用化は困難である。これらの問題点を可能な限り解決するために、省エネルギー・省力化を目的として、生澱粉分解アミラーゼ生産菌の探索が進められサゴの幹から黒カビの一種がスクリーニングされた。本カビはカララ・パラドキサと同一とされ、写真3のような形状を示す。本カビが生産する酵素は馬鈴薯、甘藷などの根菜澱粉、サゴ澱粉に対する分解能は小さいが、穀類澱粉にはよく作用し、生澱粉を

表6 ブラジルでのアルコール製造コスト(円/kg)

原料	廃糖蜜	甘	キャッサバ
原料代金	20,000	42,860	41,620
製造コスト	15,000	15,000	24,000
利益(20%)	7,000	11,520	13,130
計	42,000	69,420	78,800

(上田誠之助: 発酵と工業, 38, 1028, 1980)

90%以上分解してグルコースを生成する。特に、米、トウモロコシ澱粉をよく分解し、写真4のように分解は生澱粉表面から大きな穴を開けて内部に進む様子が窺える。

本酵素は生澱粉に対して、特に高い分解能をもつので、発酵工業の分野で注目されている。酵素生産技術の改良、安価な澱粉原料の大量入手などの問題点が解決すれば大きな産業になるものと期待される。

夢のような話であるが、バイオテクノロジーの広範な技術を応用して、1年で成長し、幹または髓に澱粉を蓄積するようなサゴヤシがつくれればおもしろい。

引用文献

- Berlyne, G. M., E. M. Booth, R.A.L. Brewis, N. P. Mallick and P. J. Simons 1969 *The Lancet*, **1**: 689.
- Kondo, H., T. Honke, R. Hasegawa, T. Shimoda and S. Nakamura 1975 *J. Antibiotics*, **28**: 157.
- 小田恒郎, 阿部公昭, 江口 通, 笠原最季雄 1972 *澱粉科学*, **19**: 139-150.
- 菅原正義, 竹内正保, 中久喜輝男, 光岡知足 1989 *日本栄養・食糧学会誌*, **42**: 123-127.
- Takahashi, S. 1986 Some useful properties of sago starch in cookery science. In N. Yamada and K. Kainuma (eds.), *The 3rd International Sago Symposium, Sago-'85, Tokyo, Japan, May 20-23, pp. 208-216, The Sago Palm Research Fund, Tokyo.*
- Yamada, N. and K. Kainuma (eds.) 1986 *The 3rd International Sago Symposium, Sago-'85, Tokyo Japan, May 20-23, The Sago Palm Research Fund, Tokyo.*